

准格尔旗矿区景观格局动态分析

李冬梅¹, 焦峰^{1,2*}, 王志杰¹, 梁宁霞²

(1. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100; 2. 西北农林科技大学 资源与环境学院, 陕西 杨陵 712100)

摘要:鄂尔多斯市准格尔旗煤炭资源丰富, 矿产开发不仅带来社会经济的发展, 还影响着矿区景观及生态环境变化。以准格尔旗 1990、2010 年两期 TM 遥感影像为数据源, 利用景观生态学理论及景观格局分析方法, 对准格尔旗矿区的景观结构和景观格局进行了动态分析。结果表明: 1) 研究区草灌地面积比例最大。转移矩阵显示, 在时间动态上水体、耕地、沙地及河道地面积减少, 草灌地、居民及工矿用地明显增加, 虽然居民及工矿用地所占比例较小, 但其对周围的其他景观产生巨大影响; 2) 20 a 间, 准格尔旗各乡镇在景观水平与斑块水平上发生了显著的变化, 其景观异质性降低、优势度明显降低, 景观格局相对简单化; 3) 20 a 间, 研究区 3 个乡镇的居民及工矿用地面积增加, 显著影响着其景观构造的变化, 研究区的植被覆盖面积呈增加趋势, 但其景观更加离散、不规则化。矿区开发主导了矿区景观格局变化: 加大建筑用地面积, 严重地破坏耕地, 减少耕地面积; 而林地、草灌地面积虽有所增加, 但其景观格局却更加破碎, 生态系统更加不稳定。

关键词: 土地利用; 景观格局; 景观指数; 准格尔旗

中图分类号: S757.3

文献标志码: A

文章编号: 1001-7461(2014)06-0060-06

Analysis of Dynamic Landscape Pattern in Zhungeer Mining Area

LI Dong-mei¹, JIAO Feng^{1,2*}, WANG Zhi-jie¹, LIANG Ning-xia²

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Jungar Banner of Erdos Zhungeer has abundant mineral resources. The exploitation of mineral resource not only brought the socioeconomic development, but also affected the landscape and ecological environment of the mining area. In this study, two-year (1990 and 2010) TM images of Jungar Banner were taken as the data source, based on the landscape ecology theory and landscape pattern analysis method, the dynamic characteristics of landscape structure and pattern in the mining area of Jungar Banner were analyzed. The results showed that: 1) the area of grassland and shrub land had the largest proportion in the research area. The temporal dynamics indicated that the areas of waterbody, farmland, and sandy land decreased, but the area of grass and shrub land, building land increased significantly. Although building land had the smaller proportion in the area, it had the great impact on the surrounding landscapes. 2) During 20 years, the landscape pattern of every township in Jungar Banner had undergone significant changes in both landscape and patch levels, manifested by the deterioration of landscape heterogeneity and the decrease of the landscape dominance. 3) The area of building land in three townships increased, which significantly affected the changes of landscape structure. The area of vegetation cover in the study area had an increasing trend, however, the landscape was more dispersed and irregular. The mining area exploitation was the

收稿日期: 2014-02-13 修回日期: 2014-04-24

基金项目: 国家自然科学基金(41271043); 国家“十二五”科技支撑计划课题(2011BAD31B01); 中国科学院重点部署项目(KZZD-EW-04-03); 西北农林科技大学科技创新重点项目(QN2011073)。

作者简介: 李冬梅, 女, 在读硕士, 研究方向: 遥感与 GIS 应用及资源环境信息技术。E-mail: ldmrose@163.com

* 通信作者: 焦峰, 男, 博士, 副研究员, 研究方向: GIS 应用、水土保持与环境效应监测评价。E-mail: Jiaof11@126.com

dominant factor effecting the changes of landscape pattern, such as enlarging the building area, destroying the farmland, and reducing the cultivated land area. Furthermore, although the woodland and grass-shrub land area increased, its landscape pattern was more broken, and its ecosystem was more unstable.

Key words: land use; landscape pattern; landscape index; Jungar Banner

景观生态学的研究焦点是在较大的空间和时间尺度上生态系统的空间格局和生态过程,而景观空间格局主要是指不同大小和形状的景观斑块在空间上的排列状况,它是景观异质性的一个重要表现,反映各种生态过程在不同尺度上的作用结果^[1-3]。近年来,随着人们对资源开发和环境保护的日益重视,矿区景观格局的研究方法与领域都得到了快速的发展^[4-6]。遥感技术以其快速、高效、信息量大等优点在各项资源探测、资源清查和环境监测中发挥着越来越重要的作用^[7-10],推动了矿区景观格局研究进入数字化、智能化的时代^[11],许多学者提出了关于采矿扰动造成矿区土地利用及其景观格局变化的探讨^[12-14]。准格尔旗位于毛乌素沙漠和西北黄土高原过渡地带的沙化区,生态环境脆弱,水土流失严重。矿区主要以露天开采为主,对其原地貌、地表植被等景观破坏严重,制约着矿区社会经济的可持续发展。应用遥感、地信等技术,通过对准格尔旗景观格局进行动态分析评价,揭示矿区景观格局的特点及时空变化特征,为今后治理与保护矿区生态环境、合理配置其景观格局及工矿区资源的持续有效利用提供理论依据。

1 研究区概况

研究区位于内蒙古自治区鄂尔多斯市东北部东四旗之一的准格尔旗(110°50′—110°27′E, 39°16′—40°20′N)。地处内蒙古自治区西南部,鄂尔多斯高原东端,南北长 116.5 km,东西宽 115.2 km,全旗总面积 7 539 km²,共 9 个乡镇:柴达木镇、布尔陶亥

苏木镇、大路镇、暖水乡、沙圪堵镇、薛家湾镇、准格尔召镇、纳日松镇、龙口镇。区域生态环境比较脆弱,降雨较少且多暴雨,沙尘天气频繁,水土流失和土地沙化非常严重。

准格尔旗地域辽阔,资源富集。煤炭探明储量 544 亿 t,远景储量 1 000 亿 t,且地质构造简单、埋藏浅、煤炭厚、低瓦斯、易开采,所以多为露天开采。矿区植被主要以过渡性草原为主,生长季节比较短,覆盖率低下。

2 数据来源及研究方法

选用数据源为 Landsat5/TM 影像,分别由 4 个时相(L5126032 ~ 19900915, L5126033 ~ 19900822, L5127032 ~ 1990813, L5126033 ~ 19890911; L5126032 ~ 20100712, L5126033 ~ 20100712, L5127032 ~ 20090630, L5127033 ~ 20090630)影像拼接而成 1990、2010 年两时段的图像,其分辨率为 30 m,坐标系统是 WGS84。利用 ERDAS、ARCGIS 软件对遥感影像进行图像处理,得到准格尔旗的土地利用类型矢量图^[15-16],并对遥感图像进行野外实地测量校正;将土地利用类型矢量图转化成栅格图像数据,再利用景观分析软件 Fragstats 3.4 选取景观指数进行分析。

参照 2007 年《土地利用现状分类》国家标准,结合研究区特点将其土地利用类型分为林地、水体、沙地及河道、耕地、草灌地、居民用地及工矿用地、未利用地 7 类。

表 1 景观指标体系及意义

Table 1 Classification system and the contents of the landscape index

景观指数	公式	意义
斑块类型面积	CA	景观斑块类型的面积
斑块类型面积比例	$PLAND = CA/A$	景观中某类斑块的面积占整个景观面积的百分率
斑块密度指数	$PD = N/A$	单位面积的斑块数目,反映了景观破碎化程度;同时反应景观的空间异质性程度
斑块形状指数	$LSI = \frac{0.25P}{\sqrt{A}}$	反映景观形状的复杂程度,指数越大,景观越离散、不规则
聚集度指数	$AI = [g_{ii} / \max_{j \rightarrow i} g_{ij}] * 100$	聚集度指数越大表明斑块的聚集程度越高
多样性指数	$H = -\sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i$	反映景观类型多样性大小的指标
均匀度指数	$E = -(\log_2 \sum_{i=1}^n P_i^2) / H_{\max}$	表征景观中不同斑块类型分配的均匀度

景观格局指数是景观格局结构和空间配置的定量指标,能够高度浓缩景观格局信息^[17-18]。根据国内外学者的研究^[19-23]及分析研究的需要,选取斑块类型面积(CA)、斑块类型面积比例(PLAND)斑块密度指数(PD)斑块形状指数(LSI)、聚集度指数(AI)、香农多样性指数(SHDI)、均匀度指数(SHEI)7个景观格局指数指标,分别从景观水平、斑块水平进行分析研究。

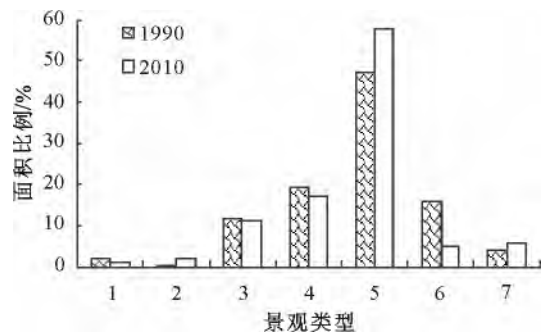
3 结果与分析

3.1 准格尔旗总体景观格局变化特征

从景观结构类型的比例来看(图1),研究区草灌地面积比例最大,占其总面积的50%左右,构成准格尔旗矿区的主体景观格局,主导区域内生态系统的结构与功能。其次是耕地,而水体与居民及工矿用地则相对较少。20 a间,水体、耕地、沙地及河道地面积减少,沙地面积由1990年的15.8%减少到2010年的4.9%,草灌地地面积从1990年的47%增加到2010年的58%,居民及工矿用地也明显增加,虽然所占比例较小,但其对周围的其他景观产生巨大影响^[19]。

由1990—2010年各景观类型面积转移矩阵(表2)可见,20 a间各种土地利用类型向其他类型均有不同程度的转变:1)水体主要变为草灌地、耕地和沙地及河道,变化量明显,分别占由水体转换总量的43.30%、225.71%、23.15%,水体用地面积在时间动态上也相应减少,主要由耕地、未利用地转化而来;2)居民及工矿用地主要向草灌地用地、耕地转换,分别占居民地及工矿用地转换总量的57.47%、

22.32%,随着城镇的不断发展,居民地及工矿用地明显增加,主要由草灌地用地、耕地转化而来;3)耕地主要向草灌地、未利用地转变,分别占耕地转换总量的76.99%、10.01%,但耕地总体上是减少趋势,主要由草灌地、未利用地和沙地及河道转换而来;4)草灌地用地主要向耕地、未利用地转变,占草灌地转换总量的38.21%、37.23%,草灌地在20 a间转换复杂,呈增加趋势,主要由耕地的退耕及沙地的治理转化而来,且转化面积较大;5)沙地及河道用地主要草灌地转变,占沙地及河道转换总量的72.43%,在20 a间沙地及河道用主要由草灌地转化而来,接近未改变沙地面积。6)林地主要向草灌地转变,占草灌地转换总量的72.25%,主要有草灌地、未利用地转化而来,说明在1990—2010年林地与草灌地之间存在较高的相互转化率,表现出此消彼长的关系,符合群落自然演替的规律。



注:1:水体,2:居民及工矿地,3:未利用地,4:耕地,5:草灌地,6:沙地及河道,7:林地。

图1 1990年、2010年准格尔旗矿区各景观类型面积比例
Fig.1 The area proportions of different landscape types in the mine area of Jungar Banner in 1990, 2010

表2 1990、2010年准格尔旗矿区各景观类型面积转移矩阵(hm²)

Table 2 Transition matrix of different landscape types the mine area of Jungar Banner in 1990, 2010

	水体	居民及矿地	未利用地	耕地	草灌地	沙地及河道	林地	2010年合计
水体	3 364.74	72.18	824.76	1 256.22	620.82	638.55	81.27	6 858.54
P/%		5.78	1.18	1.19	0.48	0.62	0.31	
居民及工矿地	151.65	761.58	1 646.28	2 548.80	5 809.77	1 676.25	409.50	13 003.83
P/%	1.57		2.36	2.41	4.53	1.64	1.55	
未利用地	155.25	4.86	17 541.72	10 585.89	47 700.45	6 719.67	2 015.55	84 723.39
P/%	1.61	0.39		10.01	37.23	6.57	7.64	
耕地	2 476.08	278.46	23 404.50	39 623.67	48 959.19	12 029.76	3 741.12	130 512.78
P/%	25.71	22.32	33.51		38.21	11.77	14.17	
草灌地	4 171.14	717.03	27 549.36	81 377.10	227 526.80	74 054.70	19 069.83	434 466.00
P/%	43.32	57.47	39.44	76.99		72.43	72.25	
沙地及河道	2 229.30	136.08	868.32	3 658.68	12 459.78	16 418.88	1 075.59	36 846.63
P/%	23.15	10.91	1.24	3.46	9.72		4.08	
林地	446.31	39.15	15 555.24	6 278.31	12 573.81	7 118.91	1 729.35	43 741.08
P/%	4.63	3.14	22.27	5.94	9.81	6.96		
1990年合计	12 994.47	2 009.34	87 390.18	145 328.67	355 650.66	118 656.72	28 122.21	

3.2 准格尔旗景观时空格局变化特征

3.2.1 各乡镇景观格局变化 景观多样性反映了

景观组分的多少和各景观组分所占比例的差异,一般来说,其值越大,景观各组分的比例越均匀^[24]。

由表 3 可知,20 a 间整体上准格尔旗及柴达木镇、布尔陶苏木、大路镇、暖水乡、沙圪堵镇、准格尔召镇、纳日松镇的 *SHDI* 和 *SHEI* 都减小,而薛家湾镇、龙口镇的 *SHDI* 和 *SHEI* 增大。说明薛家湾镇、龙口镇的景观异质性增强、优势度增加,景观格局变得复杂,各景观组分的差异明显缩小,景观多样性指数增加。而准格尔旗总体上的景观异质性变差、优势度明显降低,景观格局相对简单化,且景观多样性降低。

表 3 各乡镇 1990、2010 年的多样性指数 (*SHDI*)、均匀度指数 (*SHEI*) 值

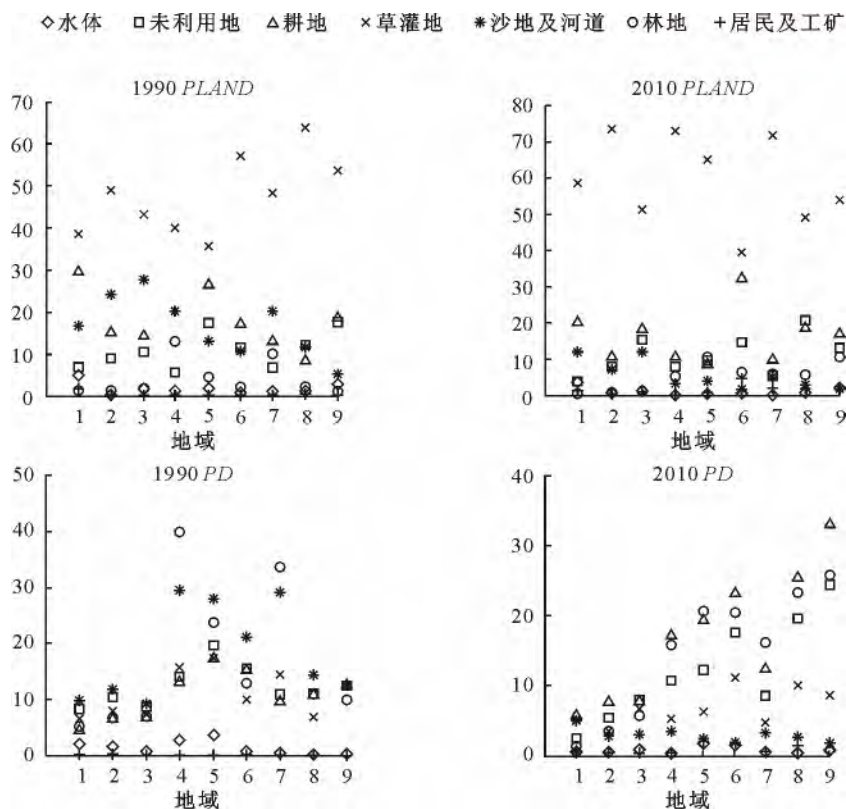
Table 3 *SHDI* and *SHEI* values of the townships within Jungar Banner in 1990, 2010

指标	1990		2010	
	<i>SHDI</i>	<i>SHEI</i>	<i>SHDI</i>	<i>SHEI</i>
准格尔旗	1.427 6	0.686 5	1.296 5	0.623 5
柴达木镇	1.479 1	0.711 3	1.195 8	0.575 0
布尔陶苏木	1.286 4	0.618 6	0.918 2	0.441 6
大路镇	1.398 5	0.672 5	1.325 0	0.637 2
暖水乡	1.497 2	0.769 4	0.949 3	0.456 5
沙圪堵镇	1.521 9	0.731 9	1.163 4	0.559 5
薛家湾镇	1.241 3	0.597 0	1.434 2	0.689 7
准格尔召镇	1.412 4	0.679 2	1.022 9	0.491 9
纳日松镇	1.444 3	0.688 1	1.260 1	0.554 0
龙口镇	1.287 1	0.619 0	1.356 4	0.652 3

3.2.2 斑块类型水平上的变化 景观比例是反映

景观组成最重要的指标。各乡镇间土地利用类型的景观比例各不相同:1990 年时草灌地 *PLAND* 值最大是纳日松镇,沙地及河道 *PLAND* 值最大是大路镇,居民及工矿用地 *PLAND* 值最大是柴达木镇,而 2010 年时草灌地 *PLAND* 值最大是布尔陶苏木镇,沙地及河道 *PLAND* 值最大是柴达木镇,居民及工矿用地 *PLAND* 值最大是薛家湾镇。在时间动态上,草灌地 *PLAND* 值呈增加趋势,沙地呈减少趋势,城市周边的耕地类型不断向城市类型转化;1990—2000 年同时黄河改道和农业灌溉设施的建立,使耕地分布的空间重心发生转移^[11]。

一般来说,人工景观比自然景观有相对高的斑块密度 (*PD*),但也具有一定的地域跟年代性差异。显然未利用地由于分布比较分散破碎其 *PD* 值相对较高,在准格尔旗,1990 年林地、沙地比水体和居民工矿用地具有相对较高的 *PD* 值且最大值出现在暖水乡,而 2010 年则耕地和林地明显高于水体居民及工矿用地的 *PD* 值且最大值出现在龙口镇,在时间动态上,沙地 *PD* 值在 2010 年时明显变小,加之其面积减少,说明其景观变得相对较集中景观破碎度减小。林地 *PD* 值在纳日松镇及龙口镇则明显增大。草灌地整体上的 *PD* 值明显减小,破碎度减小,空间异质性减小。



注 1: 柴达木镇 2: 布尔陶苏木 3: 大路镇 4: 暖水乡 5: 沙圪堵镇 6: 薛家湾镇 7: 准格尔召镇 8: 纳日松镇 9: 龙口镇。

图 2 1990、2010 年各乡镇的景观比例 (*PLAND*)、斑块密度 (*PD*) 值

Fig. 2 *PLAND* and *PD* values of the townships in 1990 and 2010

3.3 矿区对周围景观格局变化的影响

由遥感数据及实地调查结果显示,从 20 世纪末开始,随着城镇的不断发展及煤矿开采逐渐增多,居民地及工矿用地明显增加,主要由草灌地、耕地转化而来,分别为 5 809.77 hm²、2 548.80 hm²。其中煤矿集中分布在准格尔旗的布尔陶苏木、暖水乡、纳日松镇等,其居民及工矿面积显著增加,人为活动剧烈,具有一定代表性。

在布尔陶苏木,20 a 间水体耕地沙地林地的面积明显减少,其中耕地聚集度则相对减小,LSI 值增加,林地聚集度增加 LSI 值减小,草灌地面积增加聚集度增加而其 LSI 值则明显减小;说明耕地小斑块化,更加分散而复杂;由于更多的去人工造林,林地变得团聚而简单化;由于耕地、林地的退化及沙地的多年治理,使得草地面积明显增加,并变得更加聚集而单一化(表 4),但实地调查显示草地的覆盖度明显偏低。

在暖水乡,20 a 间水体、耕地、沙地及林地的面积

表 4 布尔陶苏木、纳日松镇、暖水乡 1990、2010 年斑块类型面积(CA)、斑块形状指数(LSI)、聚集度指数(AI)值

Table 4 CA, LSI and AI values of the three townships in 1990 and 2010

hm²

		1990			2010		
		CA	LSI	AI	CA	LSI	AI
纳日松镇	水体	783.00	21.66	77.56	460.53	18.29	75.32
	未利用地	10 233.36	117.97	65.18	16 964.01	141.56	67.52
	耕地	7 407.72	100.86	65.06	15 616.53	148.76	64.40
	草灌地	52 478.46	102.47	85.38	40 692.78	114.68	83.07
	沙地及河道	9 626.04	109.78	66.59	2 164.59	53.94	65.55
	林地	1 661.22	95.96	29.51	4 598.19	143.26	36.65
暖水乡	居民及工矿	0.01	0.01	0.01	1 749.33	21.61	85.10
	水体	922.32	41.80	59.18	61.20	12.75	52.33
	未利用地	3 573.45	99.84	50.08	4 956.93	86.93	63.18
	耕地	12 697.56	97.76	74.14	7 000.02	108.38	61.34
	草灌地	25 837.29	120.75	77.60	46 961.28	69.59	90.49
	沙地及河道	13 147.20	151.03	60.61	2 034.00	54.85	63.90
布尔陶苏木	林地	8 280.36	167.18	45.00	3 362.22	107.64	44.48
	居民及工矿	0.01	0.01	0.01	79.65	16.17	46.78
	水体	379.44	32.39	50.84	260.64	17.16	69.30
	未利用地	5 511.51	89.38	64.14	4 899.60	58.93	75.05
	耕地	9 916.92	63.69	81.05	6 778.71	77.03	72.19
	草灌地	31 009.14	83.69	85.89	46 149.48	54.74	92.48
布陶苏木	沙地及河道	15 364.71	77.62	81.40	4 387.68	44.20	80.33
	林地	828.72	66.01	31.51	510.30	47.82	36.81
	居民及工矿	0.18	1.00	100.00	27.99	14.72	15.70

20 a 间,研究区 3 个乡镇的居民及工矿用地都显著增加,显著影响着其景观构造的变化。3 个乡镇的土地利用发生重大变化,耕地、沙地、水体减少,林地、草灌地增加,但居民工矿用地及草灌地用地的聚集度相对较高,说明其景观由少数的团聚大斑块组成,而则林地的聚集度则明显相对较低且,景观相对较分散破碎些。20 a 间,耕地、居民工矿用地的 LSI 值明显增大,其景观变得更加离散、不规则化;

明显减少,耕地聚集度减小而 LSI 值增大,而林地的聚集度、LSI 值减小,沙地聚集度变化不大,但其 LSI 值明显减小;草地、居民工矿用地明显增加,其聚集度也明显增加,草地的 LSI 值明显减小,而居民工矿用地的 LSI 值则明显增大。表明耕地同样变得更加离散而复不规则化;林地变得离散而趋于单一化;沙地由于面积骤减而变得简单化;草地、居民工矿用地变得更加团聚化,但草地趋于单一化而居民工矿用地由于剧烈的人类活动而变得更加复杂化。

在纳日松镇,20 a 间,水体、耕地、沙地及草地面积明显减少,而林地、居民工矿用地面积则明显增加。其中耕地、草地、林地及居民工矿用地的聚集度无明显变化,而其 LSI 值则明显增大;水体及沙地的聚集度基本没变,但其 LSI 值有减少趋势。说明耕地、草地、林地及居民工矿用地在 20 a 的变更演替过程中虽没有大的团聚方面的变化,但其却变得更加复杂而不稳定。水体及沙地由于面积骤减而变得相对简单了。

草灌地及沙地的 LSI 值明显减小,其景观变得聚集而简单化。

4 结论与讨论

20 a 间研究区的各土地利用类型间均有不同程度的转变,而草灌地面积比例最大,是构成准格尔旗矿区的主体景观格局,主导区域内生态系统的结构与功能。20 a 来,准格尔旗总体上的景观异质性变

差、优势度明显降低,景观格局相对简单化,且景观多样性降低。在时间动态上,草地 *PLAND* 呈增加趋势,沙地呈减少趋势,城市周边的耕地类型不断向城市类型转化。沙地景观变得相对较集中景观破碎度减小。林地 *PD* 在纳日松镇及龙口镇则明显增大。草灌地整体上破碎度减小,空间异质性减小。*PD* 它在一定程度上反映了人类活动对景观格局的影响。在准格尔旗,1990年、2010年居民工矿用地及草灌地用地的聚集度相对较高,其景观主要由少数的团聚大斑块组成,而则林地的聚集度则明显相对较低,景观相对较分散破碎些。20 a 间,研究区 3 个乡镇的居民及工矿用地都显著增加,显著影响着其景观构造的变化。由于研究区自 1999 年开始实施退耕还林还草措施,总体上的植被覆盖面积(林地草地耕地)呈增加趋势,但其景观更加离散、不规则化。景观格局的形成是在一定地域内各种自然环境条件与社会因素共同作用的产物,而剧烈的人类活动(例如矿产开发活动等)作为最主要的驱动力,加大建筑用地面积,严重地破坏耕地,不利于农作物的生长。所以矿区周围耕地明显减少,改成园林绿化及改种果树,使得林地面积大幅度增加,矿区的积水塌陷区滞后效应越来越明显,与张世熔^[25]、李矫镛^[26]、刘新新^[27]等的研究结果一致。

准格尔旗林地草灌地面积虽然有所增加,但其景观格局却更加破碎,生态系统更加不稳定。各景观斑块变得更加破碎,土地利用的完整性变差,而植被在恢复演替的过程中其多样性相对增加。所以林地、草灌地面积增加并不代表生态建设方面做得好。

矿区可持续发展是研究区发展的核心,矿区可持续发展依赖于景观生态的建设,所以,进一步调整景观空间布局、优化矿区景观环境是准格尔旗矿区景观生态建设的重点。

参考文献:

- [1] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 100-250.
- [2] 海山. 蒙中经济区城镇体系结构及其优化对策研究[J]. 城市规划, 2000, 24(6): 25-28.
- [3] 肖笃宁, 李秀珍, 高峻, 等. 景观生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 1-10.
- [4] 刘琳. 合肥市土地利用及景观格局变化研究[J]. 资源与产业, 2008, 10(1): 60-62.
- [5] 钱者东, 蒋明康, 刘鲁君, 等. 陕北榆神矿区景观变化及其驱动力分析[J]. 水土保持研究, 2011, 18(2): 90-93.
- [6] 陈丽, 黎良财, 王昆, 等. 基于 TM 影像的泗顶铅锌矿区森林景观动态分析[J]. 广东农业科学, 2012(9): 144-147.
- [7] 龚建周, 夏北成, 陈健飞, 等. 基于 3S 技术的广州市生态安全景观格局分析[J]. 生态学报, 2008, 28(9): 4323-4333.

- GONG J Z, XIA B C, CHEN J F, *et al.* Dynamic analysis of the Guangzhou landscape eco-security pattern based on 3S technology[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(9): 4323-4333. (in Chinese)
- [8] 刘涛, 谷建才, 陈凤娟, 等. “3S”技术在森林资源调查中的应用与展望[J]. 中国农学通报, 2008, 24(11): 156-159.
- LIU T, GU J C, CHEN F J, *et al.* Applications and prospects of RS, GIS and GPS technology in forest resources investigation[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 24(11): 156-159. (in Chinese)
- [9] 陈涛, 杨武年. “3S”技术在生态环境动态监测中的应用[J]. 中国环境监测, 2003(3): 19-22.
- [10] 陈宇, 薄海光. 应用国产小卫星遥感数据监测徐州西矿区土地利用/覆盖及景观格局变化[C]//第十七届中国遥感大会摘要集, 2010.
- [11] 董宁, 韩兴国, 邬建国. 内蒙古鄂尔多斯市城市化时空格局变化及其驱动力[J]. 应用生态学报, 2012, 23(4): 1097-1103.
- DONG N, HAN X G, WU J G. Changes in the spatiotemporal pattern of urbanization in Erdos of Inner Mongolia and related driving forces[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(4): 1097-1103. (in Chinese)
- [12] 曹贵银, 白中科, 刘泽民, 等. 安太堡露天矿区土地类型变化研究[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(2): 44-48.
- CAO Y G, BAI Z K, LIU Z M, *et al.* Changes of land types in the Antaibao open-cast area[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2007, 22(2): 44-48. (in Chinese)
- [13] YU X J, NG C N. Spatial and temporal dynamics of urban sprawl along two urban-rural transects: a case study of Guangzhou, China[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 79(1): 96-109.
- [14] PICKETT S T A, CADENASSO M L, GROVE J M, *et al.* Urban ecological systems: linking terrestrial ecological, physical, and socioeconomic components of metropolitan areas[J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 2001, 32: 127-157.
- [15] 王圆圆, 李京. 遥感影像土地利用/覆盖分类方法研究综述[J]. 遥感信息, 2004(1): 53-59.
- [16] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003, 98-129.
- [17] WU J G, HOBBS R. Key issues and research priorities in landscape ecology: an idiosyncratic synthesis[J]. *Landscape Ecology*, 2002(17): 355-365.
- [18] O'NEILL R V, KRUMMEL J R, GARDNER R H, *et al.* Indices of landscape pattern[J]. *Landscape Ecology*, 1988(1): 153-162.
- [19] 张宋智, 刘文桢, 郭小龙, 等. 秦岭西段锐齿栎群落林木个体大小分布特征及物种多样性[J]. 林业科学研究, 2010, 23(1): 65-70.
- [20] 索安宁, 巨天珍, 张俊华, 等. 甘肃小陇山锐齿栎群落生物多样性特征分析[J]. 西北植物学报, 2004, 24(10): 1877-1881.
- SUO A N, JU T Z, ZHANG J H, *et al.* Analysis of biodiversity characteristics of *Quercus aliena* var. *acuteserrata* community on Mt. Xiaolong in Gansu[J]. *Acta Bot. Boreal-Occident Sinica*, 2004, 24(10): 1877-1881. (in Chinese)

(下转第 79 页)

- 2012, 56: 72-78.
- [65] GRIGOROVA B, VASEVA I I, DEMIREVSKA K, *et al.* Expression of selected heat shock proteins after individually applied and combined drought and heat stress[J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2011, 33(5): 2041-2049.
- [66] NIETO-SOTELO J, MARTINEZ L M, PONCE G, *et al.* Maize HSP101 plays important roles in both induced and basal thermotolerance and primary root growth[J]. *Plant Cell*, 2002, 14(7): 1621-1633.
- [67] SULEMAN P, REDHA A, AFZAL M, *et al.* Temperature-induced changes of malondialdehyde, heat-shock proteins in relation to chlorophyll fluorescence and photosynthesis in *Conocarpus lancifolius* (Engl.) [J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2013, 35(4): 1223-1231.
- [68] RIKHVANOV E G, GAMBURG K Z, VARAKINA N N, *et al.* Nuclear-mitochondrial cross-talk during heat shock in *Arabidopsis* cell culture[J]. *Plant Journal*, 2007, 52(4): 763-778.
- [69] CHARNG Y Y, LIU H C, LIU N Y, *et al.* *Arabidopsis* Hsa32, a novel heat shock protein, is essential for acquired thermotolerance during long recovery after acclimation[J]. *Plant Physiology*, 2006, 140(4): 1297-1305.
- [70] PARK H S, JEONG W J, KIM E, *et al.* Heat shock protein gene family of the *Porphyra seriata* and enhancement of heat stress tolerance by PsHSP70 in *Chlamydomonas* [J]. *Marine Biotechnology*, 2012, 14(3): 332-342.
- [71] CHAUHAN H, KHURANA N, NIJHAVAN A, *et al.* The wheat chloroplastic small heat shock protein (sHSP26) is involved in seed maturation and germination and imparts tolerance to heat stress[J]. *Plant Cell and Environment*, 2012, 35(11): 1912-1931.
- [72] MONTERO-BARRIENTOS M, HERMOSA R, CARDOZA R E, *et al.* Transgenic expression of the *Trichoderma harzianum* hsp70 gene increases *Arabidopsis* resistance to heat and other abiotic stresses[J]. *Journal of Plant Physiology*, 2010, 167(8): 659-665.
- [73] HORVATH I, GLATZ A, NAKAMOTO H, *et al.* Heat shock response in photosynthetic organisms: membrane and lipid connections[J]. *Progress in Lipid Research*, 2012, 51(3): 208-220.
- [74] WU H C, HSU S F, LUO D L, *et al.* Recovery of heat shock-triggered released apoplastic Ca²⁺ accompanied by pectin methylesterase activity is required for thermotolerance in soybean seedlings [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2010, 61(10): 2843-2852.
- [75] SAIDI Y, FINKA A, MURISSET M, *et al.* The heat shock response in moss plants is regulated by specific calcium-permeable channels in the plasma membrane [J]. *Plant Cell*, 2009, 21(9): 2829-2843.
- [76] GUYOT S, FERRET E, GERVAIS P. Responses of *Saccharomyces cerevisiae* to thermal stress [J]. *Biotechnology and Bioengineering*, 2005, 92(4): 403-409.
- [77] MULTHOFF G. Heat shock protein 70 (Hsp70): membrane location, export and immunological relevance [J]. *Methods*, 2007, 43(3): 229-237.
- [78] HORVATH I, MULTHOFF G, SONNLEITNER A, *et al.* Membrane-associated stress proteins: more than simply chaperones [J]. *Biochimica et Biophysica Acta-Biomembranes*, 2008, 1778(7/8): 1653-1664.

(上接第 65 页)

- [21] 王艳芳,沈永明. 盐城国家级自然保护区景观格局变化及其驱动力[J]. *生态学报*, 2012, 32(15): 4844-4851.
WANG Y F, SHEN Y M. Analysis on landscape pattern change and its driving forces of Yancheng National Natural Reserve [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(15): 4844-4851. (in Chinese)
- [22] WU J G, JENERETTE G D, BUYANTUYEV A, *et al.* Quantifying spatiotemporal patterns of urbanization: the case of the two fastest growing metropolitan regions in the United States [J]. *Ecological Complexity*, 2011, 8: 1-8.
- [23] NAGAIKE T, HAYASHI A, KUBO M, *et al.* Changes in plant species diversity over 5 years in *Larix kaempferi* plantations and abandoned coppice forests in central Japan [J]. *Forest Ecology and Management*, 2006, 236: 278-285.
- [24] 李景侠,张文辉. 巴山冷杉种群结构及空间分布格局的研究 [J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2001, 29(5): 115-118.
LI J X, ZHANG W H. Study on *Abies fargesii* population structure and spatial pattern [J]. *J. of Northwest Sci-Tech Univ. of Agri. and For. : Nat. Sci. Ed.*, 2001, 29(5): 115-118. (in Chinese)
- [25] 张世熔,龚国淑,邓良基,等. 川西丘陵区景观空间格局分析 [J]. *生态学报*, 2003, 23(2): 380-386.
ZHANG S R, GONG G S, DENG L J, *et al.* Analysis of landscape spatial patterns in the hill region in the west of Sichuan Basin [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(2): 380-386. (in Chinese)
- [26] 李矫镞,张静. 神木县大柳塔矿区景观生态规划研究 [J]. *西北林学院学报*, 2010, 25(6): 200-202.
LI J M, ZHANG J. Studies on landscape ecological planning of Daluota District Shenmu County [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2010, 25(6): 200-202. (in Chinese)
- [27] 刘新新,徐跃通,翟艳青. 基于 GIS 的南屯矿区土地利用动态变化与预测 [J]. *矿业研究与开发*, 2009, 29(4): 54-56.